Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 197-213
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۱۳-۱۹۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84927.1071

The effect of Application of Cycocel on Morphophysiological and Biochemical Characteristics of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Genotypes under Water Deficit Conditions

Elahe Danaei Rad[1], Gholamreza Zamani[2*], Hamid-Reza Fallahi[2]

Received: 23-10-2023
Revised: 31-12-2023
Accepted: 04-04-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Danaei Rad, E., Zamani, G., & Fallahi, H.R. (2024). The effect of application of cycocel on morphophysiological and biochemical characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 197-213. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84927.1071

Introduction
Drought is one of the most important abiotic stresses that has an undesirable effect on crop production and their quality and leads to osmotic, ionic, and nutritional limitations as well as growth delay, metabolic disorders and oxidative stress in plants. Iran has a dry and semi-arid climate. Due to this problem, there is a possibility of drought stress during the growth period of plants. Presently, the production of legumes in the country is mostly under rainfed conditions and drought stress is one of the main factors reducing the yield of legumes. Mung bean is a small grain of valuable legume. Evaluation of the performance of different cultivars is considered a starting point in identifying drought-resistant cultivars. Cycocel is one of the most important growth retarders for tampering with growth and performance. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of foliar application of cycocel on morphophysiological and biochemical characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under water deficit conditions.

Materials and Methods
This study was conducted in order to investigate the effect of foliar application of cycocel on the morpho-physiological and biochemical characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under water deficit conditions, split-split plots based on a randomized complete block design with three replications, in the research farm of Ferdowsi University of Mashhad. Experimental factors included 3 levels of drought (non-stress, mild stress, and severe stress), 3 levels of cycocel foliar spraying (0, 400, and 800 mg.l^{-1}), and 2 levels of mung bean cultivars (Hendi landrace and Zarbakhsh). Statistical analysis was performed using SAS 9.4 and comparing the means was based on the LSD method at a 5% probability level.

Results and Discussion
The experimental results showed that the effect of drought stress, cycocel, genotype, and the interaction of drought stress and cycocel as well as drought stress and genotype on height, stem diameter, relative water content, stomatal conductance, leakage of electrolytes, greenness and chlorophyll content were significant. Severe stress, compared to non-stress conditions, caused a decrease in height (53%), stem diameter (30%), relative water leaf content (29%), stomatal conductance (68%), greenness (37%), chlorophyll a content (25%) and chlorophyll b content (30%) and leakage of electrolytes increased (60%). The results showed that both drought stress and cycocel caused a decrease in the height of the plant. At all levels of drought stress, the Hendi genotype had a higher plant height. Drought stress caused a decrease in the diameter of the stem, while the application of cycocel reduced the decrease in the diameter of the stem due to drought stress. Drought stress caused a decrease in the relative content of leaf water, while the application of cycocel reduced this decrease. Also, Drought stress reduced the stomatal conductance, while the application of cycocel slightly compensated this reduction. At all levels of drought stress, Zarbakhsh genotype had higher stomatal conductance, but the difference between the two genotypes in the treatment of non-stress was not significant. Drought stress increased the leakage of membrane electrolytes, and the use of cycocel reduced the increase in electrolyte leakage due to drought stress, and it was also found that the increase in electrolyte leakage due to drought

1- Ph.D. Graduated, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture/ University of Birjand, Birjand, Iran.
* Corresponding Author: gzamani@birjand.ac.ir

stress was more intense in the Hendi genotype. Drought stress reduced the greenness of the leaf, while the application of cycocel slightly compensated this reduction. Also, at all levels of drought stress, the Zarbakhsh genotype had higher leaf greenness, but the difference between the two genotypes in the treatment of 100% crop water requirement was not significant. The chlorophyll a content of leaves decreased due to drought stress, while the application of cycocel reduced the severity of this decrease. Also, at all levels of drought stress, the Hendi genotype had lower leaf chlorophyll a content.

Conclusions
The results of this study showed that under drought stress, there was a decrease in plant height, stem diameter, relative water content, stomatal conductance, greenness, chlorophyll a and b content, along with an increase in electrolyte leakage. Among mung bean cultivars, the Zarbakhsh cultivar showed superiority in tolerance to water shortage conditions compared to another one. The use of cycocel reduced the negative effects of drought stress on the plant. It appeared that the use of cycocel under drought stress conditions is effective for improving plant performance.

Keywords: Chlorophyll content; Drought; Electrolyte leakage; Relative leaf water content

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 197-213
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۱۳-۱۹۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84927.1071

اثر سایکوسل بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش رطوبتی

الهه دانائی راد[1]، غلامرضا زمانی[2]*، حمیدرضا فلاحی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶

چکیده

خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در ایران است که برای کاهش اثرات نامطلوب آن، دستیابی به گیاهان‌زراعی متحمل ضروری است. به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سایکوسل بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های ماش در شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. عوامل آزمایش عبارت بودند از آبیاری در سه سطح شامل آبیاری براساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی (بدون تنش خشکی)، آبیاری براساس ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش خشکی ملایم) و آبیاری براساس ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش خشکی شدید) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی سایکوسل با سه سطح شامل عدم استفاده از سایکوسل و محلول‌پاشی با ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی و دو ژنوتیپ شامل: توده بومی هندی و رقم زربخش) به‌عنوان عامل فرعی فرعی. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل ارتفاع، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت‌ها، سبزینگی و محتوای کلروفیل بودند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش تنش رطوبتی، محلول‌پاشی سایکوسل و ژنوتیپ بر نشت الکترولیت‌ها و محتوای کاروتنوئید و همچنین برهم‌کنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی سایکوسل بر ارتفاع، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت‌ها، سبزینگی و محتوای کلروفیل و معنی‌دار بودند. شرایط تنش شدید خشکی و عدم کاربرد سایکوسل، موجب کاهش قطر ساقه (۳۰ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۲۹ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۶۸ درصد) و سبزینگی (۳۷ درصد) و همچنین افزایش نشت الکترولیت‌ها (۹۴ درصد) نسبت به شرایط شاهد شد؛ اما با کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل، کاهش قطر ساقه (۱۸ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۵ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۴۰ درصد) و سبزینگی (۲۰ درصد) و همچنین افزایش نشت الکترولیت‌ها (۵۹ درصد) مشاهده شد. همچنین ژنوتیپ زربخش بهترین پاسخ را در شرایط تنش خشکی شدید و کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ارائه داد. با توجه به نتایج این آزمایش و با در نظر گرفتن سایر شرایط رشدی گیاه، به نظر می‌رسد که با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل احتمالاً نتایج مثبتی را در تحمل ژنوتیپ زربخش به شرایط تنش خشکی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکی، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها

مقدمه

در بخش بزرگی از مناطق کشاورزی در جهان، کمبود آب عامل محدودکننده مهم رشد و بهره‌وری محصولات کشاورزی است (Khalili et al., 2020). در ایران، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی مطرح است و برای حصول عملکرد مناسب، گیاهان زراعی باید قادر به تحمل این دوره خشکی باشند (Barzegari et al., 2020). در حال حاضر نیز، تولید حبوبات در کشور بیش‌تر به‌صورت دیم بوده و تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد حبوبات می‌باشد (Nakhzari Moghaddam et al., 2020). ماش[2] یک لگوم دانه‌ریز و از حبوبات باارزش است و به لحاظ وجود ۲۵-۲۲ درصد پروتئین، ۵۱ درصد کربوهیدرات، ۱۰ درصد رطوبت، چهار درصد مواد معدنی (منیزیم، پتاسیم، منگنز، مس و روی)،

۱- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: gzamani@birjand.ac.ir)

2- *Vigna radiata* L.

سه درصد ویتامین (انواع ویتامین‌های گروه ب)، فیبر و آنتی‌اکسیدان در ترکیبات خود (Ahmadi et al., 2019)، نقش بسزایی در تأمین نیاز غذایی کشورهای درحال توسعه دارد. نیاز آبی ماش ۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰ مترمکعب است، که این امر موجب شده است تا در دسته گیاهان مقاوم به خشکی قرار گیرد، ولی در نواحی که این گیاه به‌روش دیم‌کاری کشت می‌گردد، چنانچه میزان بارش کم‌تر از نیاز آبی این گیاه باشد، دچار تنش خشکی خواهد شد (Heidari et al., 2019). امروزه روش‌های مختلفی برای مقابله با اثر ناشی از تنش در نظر گرفته شده است. در میان روش‌های مدیریتی، برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تحمل گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای محیط افزایش می‌دهند (PirastehAnosheh & Emam, 2022). این ترکیبات به‌عنوان یک ابزار کارآمد و پایدار در کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان شناخته شده‌اند (Heidari et al., 2019). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش بسزایی در تنظیم وضعیت درونی آب گیاه دارند. این تنظیم‌کننده‌ها به‌منظور افزایش کیفیت و کمیت محصول و ایجاد مقاومت به خشکی در کشاورزی استفاده می‌شود (Shokhmgar et al., 2021). سایکوسل یکی از مهم‌ترین کندکننده‌های رشد برای دست ورزی رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد (Pirasteh Anosheh & Emam, 2022). پژوهشگران به این نتیجه دست یافتند که کاربرد سایکوسل به‌صورت پیش تیمار بذر در شرایطی که گیاه دچار تنش خشکی است، می‌تواند موجب کاهش وزن‌تر و خشک شاخساره و همچنین افزایش محتوای نسبی آب و پایداری غشاء در برگ‌ها شود (Akbari & Jalili Marandi, 2014). کاهش رشد از علائم بارز گیاه در مواجهه با تنش خشکی است (Salehi et al., 2021) که سبب کوچک شدن اندازه گیاه و کند شدن تقسیمات سلولی در پیکره گیاه می‌شود و از خصوصیات گیاهان قرار گرفته در معرض تنش است. ارتفاع گیاه صفت مورفولوژیکی است که با جابجایی کربوهیدرات‌ها، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی ارتباط دارد (Tabatabai, 2021). با بررسی اثر تنش شدید خشکی بر روی ماش (Salehi et al., 2021)، سه رقم نخود[1] (Heidari, 2018)، لوبیا[2] (Karimzadeh Sureshjani, 2015; Ghalandari et al., 2019) و سویا[3] (Navabpour et al., 2017) کاهش معنی‌داری در ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی مشاهده شد. کاربرد سایکوسل در سویا (Navabpour et al., 2017) و گندم[4] و جو[5] (PirastehAnosheh & Emam, 2022) باعث کاهش ارتفاع گیاه و افزایش عملکرد شد. در بررسی‌های انجام شده بر روی ماش (Salehi et al., 2021)، ژنوتیپ‌های نخود (Naseri et al., 2020) و لوبیا (Karimzadeh Sureshjani, 2015; Ghalandari et al., 2019) مشخص شد که تنش رطوبتی در مرحله گل‌دهی بیشترین کاهش در محتوای نسبی آب برگ را منجر گردید و ژنوتیپ‌های با محتوای نسبی آب برگ بالا، عملکرد دانه بالایی تولید می‌نمایند. در شرایط تنش رطوبتی به‌واسطه شکل‌گیری بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن و سرعت انتشار بالای این ترکیبات و هجوم آن‌ها به غشاهای زیستی و پراکسیده شدن فسفولیپیدهای غشاء، پایداری غشاء کاهش‌یافته و میزان نشت الکترولیت‌ها از سلول نیز افزایش می‌یابد (Haji Babaie, 2017). در پژوهشی بر روی لوبیا چیتی، نشت الکترولیت‌ها در شرایط تنش خشکی افزایش نشان داد (Ghalandari et al., 2019). براساس پژوهشی که بر روی گیاه بادرنجبویه[6] در شرایط تنش خشکی انجام شد، مشخص شد که تنش آبی باعث کاهش شاخص پایداری غشاء، محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در این گیاه خواهد شد (Amini et al., 2023). محلول‌پاشی سایکوسل روی گندم نان در شرایط دیم، باعث افزایش پایداری غشاء سلولی شد (Ahmadi et al., 2019). تنظیم کارآمد و دقیق هدایت روزنه‌ای موجب بهبود کارایی مصرف آب[7] در شرایط تنش خشکی می‌شود که حتی در مواردی می‌تواند منجر به حصول عملکردی معادل با گیاهان رشد یافته در شرایط بدون تنش گردد (Ahmadi et al., 2019). در شرایط تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای در ماش کاهش یافت (Shokouhfar & Abofatilehnezhad, 2013) که کاربرد سایکوسل در این شرایط موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای و از این طریق، موجب تعدیل اثر منفی تنش خشکی شد.
(Ahmadi et al., 2019Barzegari et al., 2020;). در مطالعه اثر تنش خشکی بر ارقام ماش (Shokouhfar & Abofatilehnezhad, 2013)، لوبیا (Karimzadeh Sureshjani, 2015) و دو ژنوتیپ باقلا (Heidari, 2018) مشخص شد که تنش، تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a و b داشت و این صفت را کاهش داد. بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی سایکوسل، انتقال سایتوکینین را از ریشه به ساقه افزایش داد

1- *Cicer arietinum*

2- *Phaseolus vulgaris*

3- *Glycine max*

4- *Triticum aestivum*

5- *Hordeum vulgare*

6- *Dracocephalum moldavica* L.

7- Water Use Efficiency (WUE)

که منجر به افزایش طول دوره رشد، فتوسنتز، مقاومت به خشکی و افزایش عملکرد در غلات شد (PirastehAnosheh & Emam, 2022). با توجه به عدم اثرات سوء سایکوسل روی گیاه، جنبه‌های اقتصادی و کاربرد آسان آن، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سایکوسل در کاهش اثرات نامطلوب خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های ماش در شرایط تنش رطوبتی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا اجرا شد.
عوامل آزمایش عبارت بودند از آبیاری در سه سطح شامل آبیاری براساس نیاز آبی (بدون تنش خشکی)، آبیاری براساس ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش خشکی ملایم) و آبیاری براساس ۵۰ درصد نیاز آبی(تنش خشکی شدید) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی سایکوسل با سه سطح شامل عدم استفاده از سایکوسل و محلول‌پاشی با ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی و دو ژنوتیپ شامل توده بومی هندی و رقم زربخش) به‌عنوان عامل فرعی فرعی.

بذور ماش مورد استفاده در این آزمایش از مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (زربخش) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی دزفول- ایستگاه صفی‌آباد (توده هندی) تهیه گردید. پیش از کشت، آزمون جوانه‌زنی انجام و از سلامت و قوه نامیه بالای بذور اطمینان حاصل شد. ماده سایکوسل مصرفی نیز از شرکت مرک (Merck) تهیه شد. قبل از کشت، خاک محل انجام آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در چهار ضلع و مرکز زمین نمونه‌برداری شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). هر کرت شامل پنج خط کاشت به‌طول چهار متر به‌صورت جوی–پشته (کاشت روی پشته) با انتهای بسته، با فاصله ردیف ۵۵ سانتی‌متر بود (مساحت هر کرت ۱۱ مترمربع). فواصل بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها ۲/۵ متر بود. کاشت به‌روش خشکه‌کاری و به‌صورت دستی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ در عمق دو سانتی‌متری صورت گرفت.

آبیاری به‌صورت غرقابی جوی و پشته‌ای بود و آب‌رسانی به هر کرت توسط لوله و کنتور حجمی صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. پس از آن، آبیاری تا مرحله سبز شدن (تعداد دفعات آبیاری دو بار) به فواصل چهار روز انجام شد. واکاری قسمت‌های سبز نشده پس از گذشت یک هفته از کشت صورت گرفت. عملیات تنک در مرحله دو تا چهار برگی انجام شد. عملیات وجین علف‌های هرز از مرحله چهار برگی آغاز و تا مرحله پر شدن دانه به‌صورت دستی در طول دوره رشد انجام شد. اعمال تیمارهای تنش در مرحله چهار برگی شروع شد و تا پایان فصل رشد ادامه داشت. اولین محلول‌پاشی در مرحله سه برگی انجام شد. محلول‌پاشی دوم نیز در مرحله شروع گل‌دهی انجام شد (Heidari et al., 2019).
داده‌های مورد نیاز این پژوهش برای تعیین نیاز آبی شامل میزان بارندگی، دماهای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی از طریق آمار درازمدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد در سال جاری، جمع‌آوری شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مونتیث فائو (Khosroshahi, 2013) و نیاز آبی ماش توسط نرم‌افزار CropWat تعیین شد. برای محاسبه حجم آب آبیاری هر کرت ابتدا نیاز خالص آبیاری به‌دست آمد و سپس برای توزیع حجم آب آبیاری بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از کنتور حجمی استفاده شد و حجم آب ورودی به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1- Physical and chemical properties of soil

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	واکنش pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)
0-30	لومی رسی Clay loam	0.97	7.98	1.2

در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، پس از حذف اثر حاشیه‌ای (۰/۵ متر از بالا و پایین خط کاشت و یک خط کاشت از راست و چپ هر کرت)، نمونه از آخرین برگ تکامل‌یافته در هر تیمار برداشت و صفات محتوای نسبی آب برگ (Smart & Bingham, 1974) (معادله ۱)، نشت الکترولیت‌ها (Valentovic, 2006) (معادله ۲)، رنگدانه‌های فتوسنتزی (Dere et al., 1998) (معادله ۳ تا ۵)، شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD 502، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل AP4 و همچنین در انتهای فصل رشد نیز، ارتفاع با کمک خط‌کش و قطر ساقه توسط کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. در پایان، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (آزمون کولموگرو- اسمیرنو)، تجزیه‌وتحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ۹/۴ و مقایسه‌های میانگین با آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

$$RWC(\%) = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$$ معادله (۱)

که در آن، FW: وزن‌تر برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن تورژسانس برگ می‌باشد.

$$EC(\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$ معادله (۲)

که در آن، EC1: هدایت الکتریکی هر نمونه پس از ۲۴ ساعت و EC2: هدایت الکتریکی هر نمونه پس از اتوکلاو می‌باشد.

$$Chlorophyll\ a = \frac{(19.3\ A663 - 0.86\ A645)\ V}{100W}$$ معادله (۳)

$$Chlorophyll\ a = \frac{(19.3\ A645 - 3.6\ A663)\ V}{100W}$$ معادله (۴)

معادله (۵)

$$Carotenoid = \frac{(100\ A470 - (3.27\ Chl\ a - 104\ Chl\ b))}{227}$$

که در آن، V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، W: وزن تر نمونه بر حسب گرم، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، Chl a: محتوای کلروفیل a و Chl b: محتوای کلروفیل b می‌باشد.

نتایج و بحث

ارتفاع

برهم‌کنش‌های تنش خشکی و سایکوسل و همچنین تنش خشکی و ژنوتیپ بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح تنش خشکی، با افزایش غلظت سایکوسل، ارتفاع بوته در هر دو رقم ماش کاهش یافت. همچنین در همه سطوح تنش خشکی نیز ژنوتیپ هندی، ارتفاع بوته بیشتری را به خود اختصاص داد (شکل ۱). در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۱ و ۲۳ درصد کاهش یابد. این کاهش در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۲، ۴۰ و ۴۷ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۵۳، ۵۹ و ۶۴ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که ارتفاع بوته ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۳۲ و ۵۳ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی ارتفاع بوته را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ارتفاع بوته این ژنوتیپ ۳۲ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ۵۴ درصد کاهش نشان داد. محققان گزارش دادند که از مهم‌ترین آثار تنش خشکی بر گیاهان، کاهش ارتفاع بوته می‌باشد (Ghalandari et al., 2019). محدودیت آب ناشی از تنش خشکی باعث کاهش رشد سلولی و کاهش فاصله میان‌گره‌ها شده و از این طریق، ارتفاع بوته کاهش می‌یابد (Todaka et al., 2015). علاوه‌براین کاهش ارتفاع بوته در اثر کاربرد سایکوسل نیز در بسیاری از مطالعات پیشین گزارش شده است (Hashemabadi et al., 2012). سایکوسل با اختلال در مسیر بیوسنتز جیبرلیک اسید مانع از فعالیت آنزیم انت کائورن سنتتاز شده و از این طریق باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Kumar et al., 2011).

قطر ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش‌های تنش خشکی و سایکوسل و همین‌طور تنش خشکی و ژنوتیپ بر قطر ساقه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح تنش خشکی با افزایش غلظت سایکوسل، قطر ساقه در هر دو رقم ماش افزایش یافت (شکل ۲). در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که قطر ساقه نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۶ و ۲۰ درصد افزایش یابد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، قطر ساقه به‌ترتیب ۱۴، ۹ و ۵ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، قطر ساقه به‌ترتیب ۳۰، ۲۲ و ۱۸ درصد کاهش پیدا کرده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته و قطر ساقه ژنوتیپ‌های ماش در سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با سایکوسل

Table 2- Analysis of variance for the height and diameter of mung bean genotypes at different levels of drought stress and foliar application with cycocel

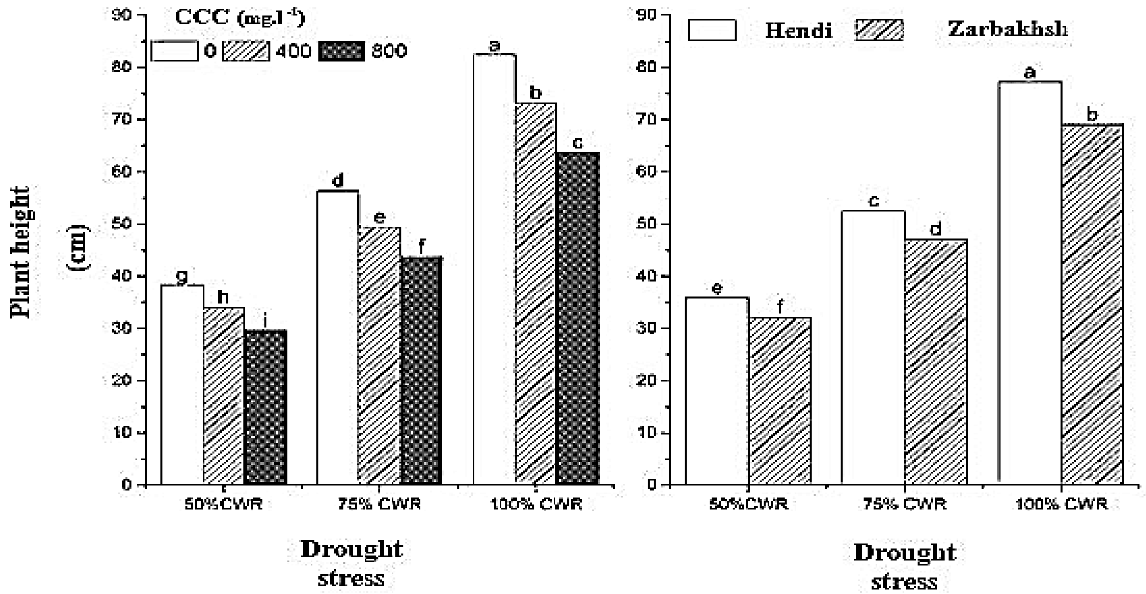
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: ارتفاع بوته Plant height	میانگین مربعات Mean of squares: قطر ساقه Stem diameter
بلوک Block	2	12.3 ns	0.006 ns
تنش خشکی Drought (D)	2	6740.26 ***	12.69***
خطا الف Error A	4	0.75	0.01
سایکوسل Cycocel (C)	2	758.45***	2.17***
C × D	4	35.01**	0.16**
خطا ب Error B	4	1.62 ns	0.01
ژنوتیپ Genotype (G)	1	430.24 ***	0.72***
G × D	2	20.66 **	0.11*
G × C	2	2.44 ns	0.01 ns
D ×C ×G	4	0.25 ns	0.01 ns
خطا Error	26	2.30	0.02
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.9	6.0

ns، *، ** و ***: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

ns, *, ** and ***: non-significant and significant respectively at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001

علاوه‌براین نتایج نشان داد که قطر ساقه ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت، به‌نحوی‌که قطر ساقه ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۱۹ و ۳۲ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی، قطر ساقه را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، قطر ساقه این ژنوتیپ، ۱۴ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۲۷ درصد کاهش نشان داد. نتایج نشان داد که کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که قطر ساقه به‌ترتیب هشت و یک درصد کاهش یابد. محدودیت آب در گیاهان اثرات بسیار متعددی ازجمله کاهش رشدونمو را به دنبال دارد (Lipiec et al., 2013). در شرایط تنش خشکی از مهم‌ترین فرآیندهایی که دچار اختلال می‌شود، فرآیند تقسیم سلولی و همچنین رشد سلول‌ها می‌باشد.

در این شرایط، ازجمله اتفاقاتی که رخ می‌دهد، کاهش ارتفاع بوته و قطر ساقه می‌باشد (Ohashi et al., 2006). همچنین افزایش قطر ساقه در اثر کاربرد سایکوسل در سایر گیاهان نیز گزارش شده است (Hashemzadeh, 2009). پژوهشگران دلیل بیشتر بودن قطر ساقه در اثر کاربرد سایکوسل را به‌دلیل انباشت مواد کربوهیدراتی و لیگنینی شدن ساقه دانسته‌اند (Knapp et al., 1987). محققان اعلام کردند که به نظر می‌رسد، سایکوسل همانند سایر مواد ضد تعرق مانع تقسیم سلولی بیشتر شده و در اثر مصرف این مواد بر قطر و ضخامت سلول‌ها افزوده می‌شود (Bayat et al., 2010). همچنین محققان گزارش کردند که مصرف سایکوسل در گندم و کلزا باعث افزایش قطر ساقه می‌شود (PirastehAnosheh & Emam, 2022) که نتایج مذکور با یافته‌های این آزمایش مطابقت دارد.

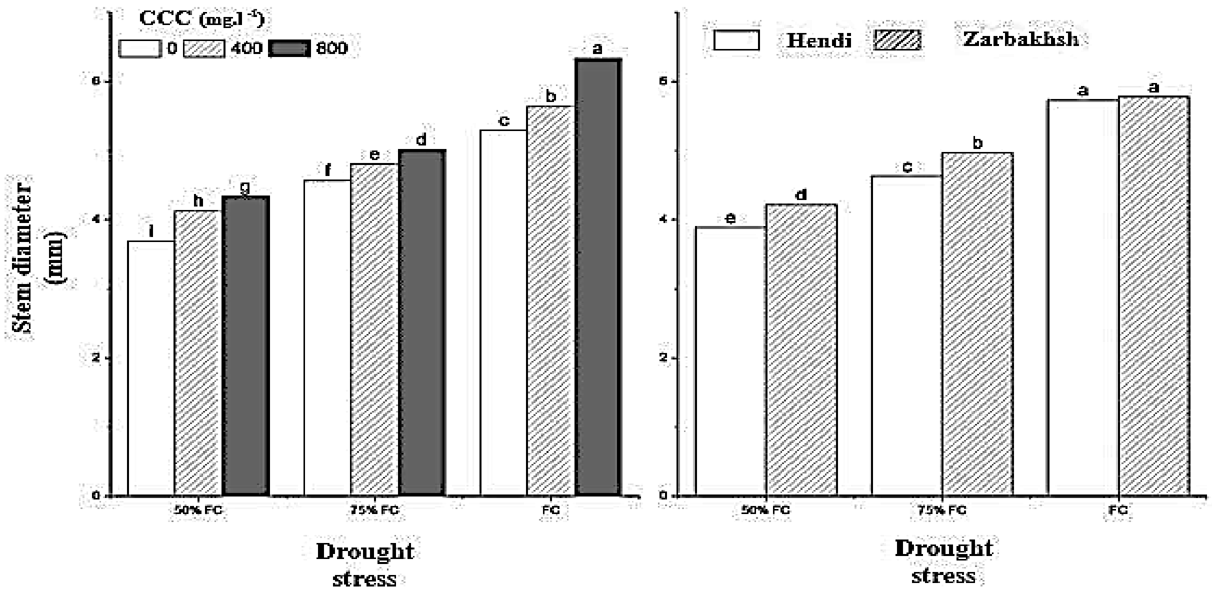


شکل ۱- ارتفاع بوته ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 1- Plant height mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.



شکل ۲- قطر ساقه ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 2- Stem diameter mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.

محتوای نسبی آب برگ

برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و همچنین تنش خشکی و ژنوتیپ اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت (جدول ۳). کاربرد سایکوسل موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش و عدم تنش خشکی شد (شکل ۳). همچنین در همه سطوح تنش خشکی ژنوتیپ زربخش محتوای نسبی آب برگ بالاتری داشت، هرچند که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، اختلاف آن با ژنوتیپ هندی معنی‌دار نبود (شکل ۳). نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محتوای نسبی آب برگ را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۳ و ۱۲ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۱، ۷ و ۴ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۲۹، ۱۹ و ۱۵ درصد محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. علاوه‌براین، نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت، به‌نحوی‌که محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۱۴ و ۲۸ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای نسبی آب برگ این ژنوتیپ، ۱۰ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۲۲ درصد کاهش نشان داد. آماس سلول و پتانسیل آب گیاه به‌طور مستقیم بر مقدار محتوای نسبی آب برگ اثر دارد. از طرف دیگر، تورژسانس سلولی باعث توسعه و تقسیم سلولی است و بدین ترتیب، ارتباطی بین میزان محتوای نسبی آب برگ و ماده خشک تولیدی وجود دارد. در بررسی‌های انجام‌شده مشخص‌شده است که معمولاً ارقام مقاوم به خشکی از محتوای نسبی آب برگ بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار هستند (Karimpour, 2019). محققان بیان کردند که کمبود آب به‌طور آشکاری محتوای نسبی آب را در برگ‌های لوبیا کاهش می‌دهد (Ghalandari et al., 2019). محققان گزارش دادند که استفاده از سایکوسل در محدودیت آب، RWC و مقاومت روزنه را افزایش داد (PirastehAnosheh & Emam, 2022). کاربرد سایکوسل در شرایط تنش ملایم خشکی توانست با بسته‌تر نگه داشتن روزنه‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمبود آب گیاه را جبران کند (Andalibi & Nouri, 2014)، RWC گیاه را افزایش دهد و از این طریق از صدمه به گیاه جلوگیری کند؛ بنابراین استفاده از سایکوسل در شرایط تنش خشکی می‌تواند با افزایش مقاومت روزنه‌ای، میزان هدررفت آب گیاه را کاهش دهد (Saei et al., 2006).

هدایت روزنه‌ای

برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ اثر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای داشتند (جدول ۳). تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای را کاهش داد، درحالی‌که کاربرد سایکوسل این کاهش را جبران کرد. همچنین در همه سطوح تنش خشکی، ژنوتیپ زربخش هدایت روزنه‌ای بالاتری داشت، امّا اختلاف بین دو ژنوتیپ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی‌دار نبود (شکل ۴). نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، هدایت روزنه‌ای را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۰ و ۲۹ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۲۸، ۱۸ و ۱۳ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۶۸، ۴۹ و ۴۰ درصد هدایت روزنه ای را کاهش داد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل و کمترین آن در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم محلول‌پاشی سایکوسل مشاهده شد. اولین واکنش گیاهان در مواجهه با تنش خشکی، بسته شدن روزنه است که این واکنش نه‌تنها از دست دادن آب از طریق تعرق را کاهش می‌دهد، بلکه جذب CO_2 را نیز کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که کاهش بیان ژن‌های آکواپورین و ویژگی‌های تشریحی که منجر به کاهش سطح کلروپلاست در معرض فضای بین سلولی در واحد سطح برگ می‌شود باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در پاسخ به تنش خشکی می‌شود (Karimzadeh Sureshjani, 2015). مشابه نتایج این آزمایش، محققان گزارش کردند کاربرد سایکوسل باعث افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شد (Andalibi & Nouri, 2014). برخی محققان مشاهده کرده‌اند که کاربرد سایکوسل با کاهش هدایت روزنه‌ای باعث حفظ آب و جلوگیری از هدررفت آن شده و ازاین‌رو به بهبود وضعیت آبی گیاه و حفظ تورژسانس

کمک می‌کنند (Saei et al., 2006). در نقطه مقابل، برخی پژوهشگران دریافتند که در شرایط تنش خشکی کاربرد سایکوسل باعث افزایش رشد ریشه به‌ویژه رشد ریشه‌های مویین شده و از این طریق باعث بهبود جذب آب توسط گیاه و در نتیجه، افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود (PirastehAnosheh & Emam, 2020).

نشت الکترولیت‌ها

برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل، برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ و همین‌طور برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ بر نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح تنش خشکی با افزایش غلظت سایکوسل نشت الکترولیت‌ها در رقم هندی و زربخش کاهش یافت (جدول ۴). در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در ژنوتیپ هندی باعث شد که نشت الکترولیت‌ها نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۸ و ۲ درصد افزایش یابد. در همین ژنوتیپ، این افزایش در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۵۵، ۴۳ و ۳۶ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۵۹، ۶۹ و ۹۴ درصد بود، درحالی‌که در ژنوتیپ زربخش در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که نشت الکترولیت‌ها نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب دو و شش درصد کاهش یابد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۱، ۱۴ و ۷ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۴۰، ۴۹ و ۶۰ درصد موجب افزایش نشت الکترولیت‌ها شد. خسارت وارد شده به غشای پلاسمایی سلول‌ها در تنش خشکی از ابتدایی‌ترین آسیب‌های وارد شده به سلول در این شرایط است (Narimani et al., 2018)، در نتیجه صدمه به غشای سلولی، تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث مرگ آن می‌شود (Karimzadeh Sureshjani, 2015). همچنین در این آزمایش، کاربرد سایکوسل باعث شد که نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش خشکی کاهش یابد که این نتایج با یافته‌های پژوهشگران در گیاه جو مطابقت داشت (PirastehAnosheh & Emam, 2022).

سبزینگی برگ و محتوای رنگیزه‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۵). برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل بر سبزینگی برگ و محتوای کلروفیل a معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل، برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ بر محتوای کاروتنوئید برگ معنی‌دار بود (جدول ۵). در همه سطوح تنش خشکی، ژنوتیپ زربخش سبزینگی برگ بالاتری داشت، امّا اختلاف بین دو ژنوتیپ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که سبزینگی برگ نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۶ و ۱۳ درصد افزایش یابد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۵، ۱۱ و ۸ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۷، ۲۴ و ۲۰ درصد سبزینگی برگ کاهش یافت.

همچنین سبزینگی برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت، به‌نحوی‌که سبزینگی برگ ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۲۰ و ۳۶ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی، سبزینگی برگ را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، سبزینگی برگ این ژنوتیپ، ۱۴ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۲۷ درصد کاهش نشان داد. محتوای کلروفیل a برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافت، درحالی‌که کاربرد سایکوسل شدت این کاهش را تقلیل داد. همچنین در همه سطوح تنش خشکی، ژنوتیپ هندی محتوای کلروفیل a برگ کمتری داشت، امّا اختلاف بین دو ژنوتیپ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۶).

جدول ۳- آنالیز واریانس صفات محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای و نشت الکترولیت‌های برگ ژنوتیپ‌های ماش در سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با سایکوسل

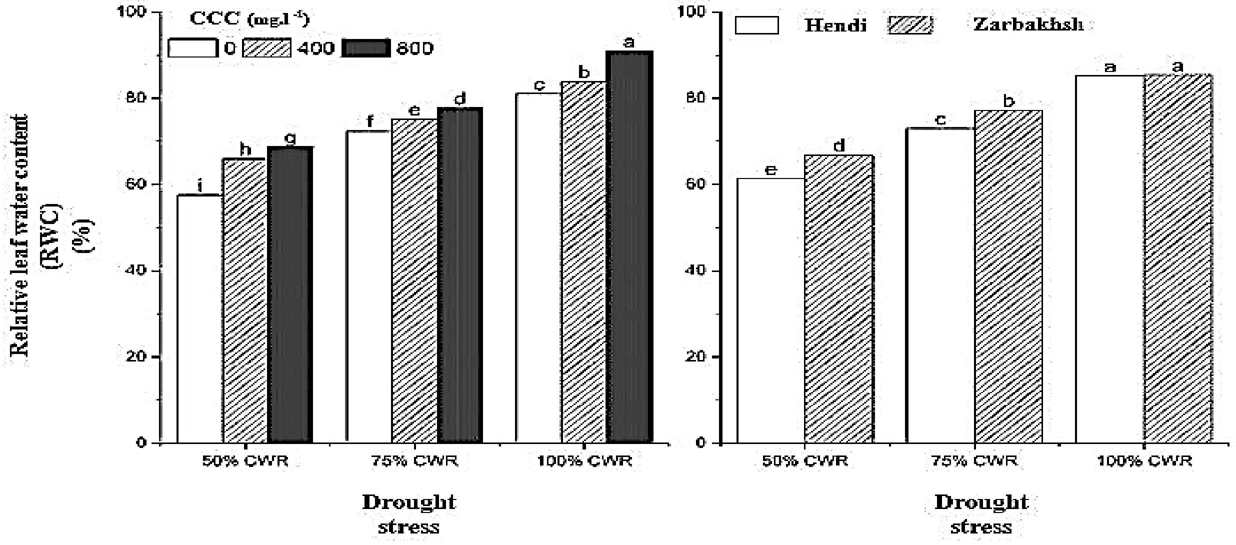
Table 3- Analysis of variance for the relative leaf water content (RWC), stomatal conductance and leaf electrolyte leakage of mung bean genotypes at different levels of drought stress and foliar application with cycocel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: محتوای نسبی آب برگ RWC	میانگین مربعات Mean of squares: هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	میانگین مربعات Mean of squares: نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage
بلوک Block	2	8.17 ns	56.5 ns	9.5*
تنش خشکی Drought (D)	2	1960.95***	113823.02***	1916.65***
خطا الف Error A	4	2.33	154.42	0.66
سایکوسل Cycocel (C)	2	334.04***	15221.55***	143.27**
C × D	4	25.67*	827.89*	24.75*
خطا ب Error B	4	1.72	81.14	1.65
ژنوتیپ Genotype (G)	1	134.57***	6469.60***	8.79 ns
G × D	2	30.42**	920.33**	75.04***
G × C	2	2.29 ns	16.56 ns	7.52 ns
D ×C ×G	4	1.29 ns	260.52 ns	10.97**
خطا Error	26	4.74	111.35	2.56
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.9	5.3	3.8

ns، *، ** و ***: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

ns, *, ** and ***: non-significant and significant respectively at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001

در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محتوای کلروفیل a برگ را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب یک و ۱۲ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۹، ۵ و ۳ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۲۵، ۱۴ و ۱۲ درصد محتوای کلروفیل a برگ را کاهش داد. علاوه‌براین محتوای کلروفیل a برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت. همچنین در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محتوای کلروفیل b برگ را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۴ و ۱۶ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۳، ۸ و ۶ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۰، ۲۱ و ۱۷ درصد محتوای کلروفیل b برگ را کاهش داد (جدول ۶). همچنین محتوای کلروفیل b برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت. تنش خشکی باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد و کاربرد سایکوسل باعث شد که اثر افزایندگی نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش خشکی کمی کاهش یابد، همچنین مشخص شد که افزایش محتوای کاروتنوئید در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ هندی شدیدتر بود (جدول ۷).

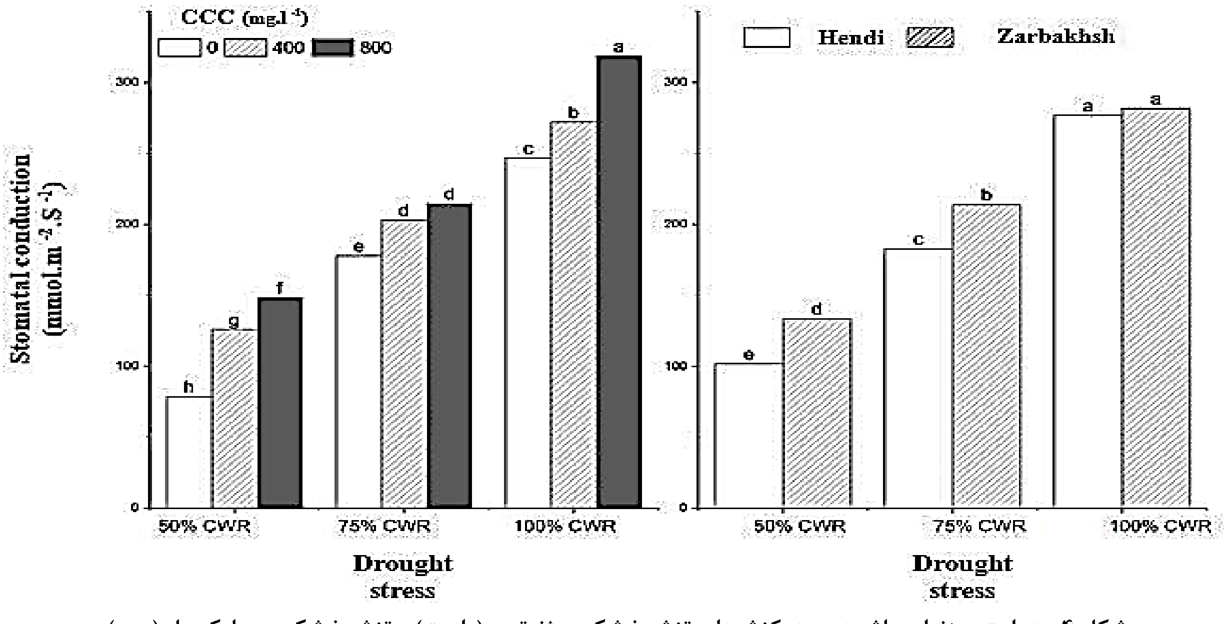


شکل ۳- محتوای نسبی آب برگ ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 3- The relative content of leaf water mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.



شکل ۴- هدایت روزنه‌ای ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 4- The stomatal conduction mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.

جدول ۴- نشت الکترولیت‌های برگ ماش (درصد) در برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ

Table 4- Leakage of leaf electrolytes (%) of mung bean in the interaction of drought stress, cycocel and genotype

تنش خشکی Drought	سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$)	ژنوتیپ Genotype	
		هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	0	59.1 a*	54.3 b
	400	51.7 bc	50.6 cd
	800	48.6 de	47.5 e
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	0	47.2 ef	44.7 fg
	400	43.6 gh	38.7 i
	800	41.6 h	36.5 ij
نیاز آبی گیاه CWR	0	30.5 i	34.0 jk
	400	25.1 m	33.2 kl
	800	31.3 kl	31.8 kl

* میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR مخفف Crop Water Requirement می‌باشد.

* The averages with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR is Crop Water Requirement.

جدول ۵- آنالیز واریانس صفات سبزینگی (اسپد)، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید برگ ژنوتیپ‌های ماش در سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با سایکوسل

Table 5- Analysis of variance for the spad, chlorophyll a, chlorophyll b and leaf carotenoid of mung bean genotypes at different levels of drought stress and foliar application with cycocel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		سبزینگی Spad	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid
بلوک Block	2	1.63 ns	0.007 ns	0.0003 ns	0.06 *
تنش خشکی Drought (D)	2	1013.39 ***	1.46 ***	0.46 ***	5.98 ***
خطا الف Error A	4	1.23	0.003	0.0003	0.01
سایکوسل Cycocel (C)	2	136.93 **	0.35 **	0.072 ***	0.04 ns
C × D	4	9.38 **	0.05 **	0.006 ***	0.26 *
خطا ب Error B	4	0.35	0.002	0.00003	0.02
ژنوتیپ Genotype (G)	1	58.36 **	0.10 **	0.021***	0.37 ***
G × D	2	17.44 ns	0.01 ns	0.005 **	0.37 ***
G × C	2	0.44 ns	0.001 ns	0.0002 ns	0.03 ns
D ×C ×G	4	1.61 ns	0.003 ns	0.001 ns	0.06 *
خطا Error	26	0.78	0.01	0.001	0.02
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.2	4.2	7.1	8.0

ns، *، ** و ***: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

ns, *, ** and ***: are non-significant and significant respectively at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001

جدول ۶- سبزینگی (اسپد)، کلروفیل a و کلروفیل b برگ ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و سایکوسل و تنش خشکی و ژنوتیپ

Table 6- Spad, chlorophyll a and chlorophyll b in the interactions of drought stress and cycocel and drought stress and mung bean genotype

تنش خشکی Drought	سبزینگی Spad - سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$) 0	400	800	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ fw) - سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$) 0	400	800	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ fw) - سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$) 0	400	800
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	28.78 a*	34.42 b	36.32 g	2.02 f	2.33 e	2.39 e	0.77 i	0.86 h	0.91 g
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	38.42 f	40.44 e	41.66 d	2.47 d	2.56 c	2.63 c	0.96 f	1.01 e	1.03 d
نیاز آبی گیاه CWR	45.46 c	48.24 b	51.51 a	2.71 b	2.73 b	3.03 a	1.09 c	1.14 b	1.27 a

تنش خشکی Drought	هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh	هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh	هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	31.20 e	35.15 d	2.19 c	2.30 d	0.81 e	0.88 d
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	38.87 c	41.48 b	2.49 c	2.61 b	0.97 c	1.02 b
نیاز آبی گیاه CWR	48.47 a	48.34 a	2.81 a	2.84 a	1.17 a	1.17 a

* برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR: مخفف Crop Water Requirement می‌باشد.

* For each trait, the averages with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR: is Crop Water Requirement.

جدول ۷- محتوای کاروتنوئید برگ ($mg.g^{-1}$ fw) ماش در برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ

Table 7- Leaf carotenoids content ($mg.g^{-1}$ fw) of mung bean in the interaction of drought stress and cycocel and genotype

تنش خشکی Drought	سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$)	ژنوتیپ Genotype - هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	0	2.04 de*	2.20 cd
	400	2.09 de	2.59 b
	800	2.34 c	2.87 a
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	0	2.0 d-f	1.94 ef
	400	1.87 e-g	1.69 ghi
	800	1.79 f-h	1.58 hi
نیاز آبی گیاه CWR	0	1.15 k	1.46 ij
	400	0.83 l	1.30 jk
	800	1.18 k	1.20 jk

* میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR مخفف Crop Water Requirement می‌باشد.

* The averages with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR is Crop Water Requirement.

نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در ژنوتیپ هندی، کاربرد سایکوسل با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، محتوای کاروتنوئید را نسبت به شاهد، به‌ترتیب ۲۷ درصد کاهش و سه درصد افزایش داد و در ژنوتیپ زربخش، کاربرد سایکوسل با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، محتوای کاروتنوئید را نسبت به شاهد ۱۱ و ۷ درصد کاهش داد. محتوای کاروتنوئید، در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در ژنوتیپ هندی به‌ترتیب ۷۴، ۶۳ و ۵۶ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۰۰، ۸۲ و ۷۸ درصد افزایش یافت، درحالی‌که در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در ژنوتیپ زربخش به‌ترتیب ۳۳، ۱۶ و ۸ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۹۸، ۷۸ و ۵۱ درصد افزایش یافت (جدول ۷). به نظر می‌رسد که علت کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن و تجزیه کلروفیل توسط این ترکیبات در سلول باشد. در همین ارتباط، تحقیقات انجام شده نشان داد که رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه، تجزیه این رنگیزه می‌گردند. کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به‌واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه، تجزیه کلروفیل است (Ahmadi & Siosemardeh, 2004).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، سبزینگی، محتوای کلروفیل a و محتوای کلروفیل b و افزایش نشت الکترولیت‌ها در گیاه ماش شد. در بین ارقام ماش مورد بررسی، رقم زربخش در تحمل شرایط کمبود آب نسبت به رقم توده هندی برتری نشان داد. با توجه به نتایج این آزمایش و با در نظر گرفتن سایر شرایط رشدی گیاه، به نظر می‌رسد که با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل احتمالاً نتایج مثبتی را در تحمل ماش به شرایط تنش خشکی داشته باشد.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر نباتی و جناب آقای دکتر داورپناه به‌دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی چشم‌داشت ایشان در به اتمام رساندن این پژوهش سپاسگزارم.

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری با شماره ثبت ۸۱۲۹، در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۴ در شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند می‌باشد و هزینه طرح از محل صندوق اعتباری دانشجویی تأمین‌شده است. بخشی از هزینه این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۴۰۲/د/۵۴۴۱ مورخ ۱۴۰۲/۳/۲۲ و با استفاده از اعتبارات گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Ahmadi, A., & Siosemardeh, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline in four wheat cultivars adapted to different climatic conditions of Iran. *Iranian Journal of Agriculture Science*, *35*(3), 753-763. (In Persian). https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

Ahmadi, M., Zare, M. J., & Emam, Y. (2019). Study of quantitative and qualitative traits of bread wheat by using of cycocel, zinc sulfate and bio-fertilizer application under dry land farming. *Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch)*, *11*(38), 148-161. (In Persian with English Abstract)

Akbari, V., & Jalili Marandi, R. (2014). Effect of cycocel on growth and photosynthetic pigments of tow olive cultivars under different irrigation intervals. *Journal of Horticultural Science*, *27*(4), 460-469. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.30663

Amini, R., Zafarani-Moattar, P., Shakiba, M. R. & Hasanfard, A. (2023). Inoculating moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) with mycorrhizal fungi and bacteria may mitigate the adverse effects of water stress. *Scientific Reports*, *13*(1), 61-76. https://doi.org/10.1038/s41598-023-43539-3

Andalibi, B., & Nouri, F. (2014). Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *6*(22), 91-104. (In Persian with English Abstract)

Barzegari, M., Emam, Y., & Zamani, A. (2020). Yield components and grain yield responses of four wheat cultivars to growth retardant cycocel under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, *10*(3), 139-156. (In Persian with English Abstract)

Bayat, A. A., Sepehari, A., Ahmadvand, G., & Dori, H. R. (2010). Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Science, 12*(1), 42-54. (In Persian)

Dere, S., GÜNEŞ, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany, 22*(1), 13-18.

Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M., & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(1), 114-125. (In Persian with English Abstract). http://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.64836

Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., & Zarrouk, M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae, 119*(3), 257-263.

Haji Babaie, M. (2017). The Effect of drought stress on morphophysiological traits and yield and quality of new rapeseed lines. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract)

Hashemabadi, D., Lipaei, S. R., Shadparvar, V., Zarchini, M., & Kaviani, B. (2012). The effect of cycocel and daminozide on some growth and flowering characteristics of *Calendula officinalis* L., an ornamental and medicinal plant. *Journal of Medicinal Plants Research, 6*(9), 1752-1757.

Hashemzadeh, F. (2009). The effects of drought stress and cycocel on the yield of corn cultivars in the second crop. *Ecology of Agricultural Plants, 5*(1), 79-67. (In Persian)

Heidari, H., Alizadeh, Y., & Fazeli, A. (2019). Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean (*vigna radiata* L.) under drought stress condition. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 26*(2), 127-141. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14863.2327

Heidari, S. (2018). The effect of tolerance of *Echinacea angustifolia* to drought stress, cadmium and oil pollution. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Gilan University, Gilan, Iran. (In Persian with English Abstract)

Karimpour, M. (2019). Effect of drought stress on RWC and chlorophyll content on wheat (*Triticum durum* L.) genotypes. *World Essays Journal, 7*(1), 52-56.

Karimzadeh Sureshjani, H. A. (2015). The effect of low irrigation on the morphophysiological characteristics and performance of pinto bean genotypes. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract)

Khalili, M., Naghav, M. R., & Talebzade, S. J. (2020). Evaluation of changes in morphological, physiological and biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress. *Crop Breeding Research Journal*, *51*(2), 15-28. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.250429.654438

Khosroshahi, M. (2013). Estimating water requirement of *Prosopis juliflora* at different habitates of Persian Gulf-Aman Sea region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21*(2), 300-315. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22092/IJFPR.2013.3859

Knapp, J. S., Harms, C. L., & Volenec, J. J. (1987). Growth regulator effects on wheat culm nonstructural and structural carbohydrates and lignin 1. *Crop Science, 27*(6), 1201-1205.

Kumar, R., Saravanan, S., Bakshi, P., & Srivastava, J. N. (2011). Influence of plant growth regulators on growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa Duch*) cv. Sweet Charlie. *Progressive Horticulture, 43*(2), 264-267.

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A., & Kondracka, K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: A review. *International Agrophysics*, *27*(4), 463–477.

Lobon, N. C., Gallego, J. C. A., Diaz, T. S., & Garcia, J. C. E. (2002). Allepopathyic potential of *Cistrus landanifer* chemicals in response to variation of light and temperature. *Chemoecology*, *12*, 139-143.

Mojadam, M., Sakinezhad, T., Shokoohfar, A., & Esmaili Pour, N. (2016). Effect of plant density and cycocel on quantitative characteristics and protein barley cultivar south. *Crop Physiology Journal, 29*(8), 121-135. (In Persian)

Nakhzari Moghaddam, A., Ghelichi Yanghagh, H., Biabani, A., & Taliey, F. (2020). The effect of nitrogen and irrigation interval on quantity traits and protein of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under non fixation of nitrogen. *Journal of Crops Improvement*, *22*(2), 205-215. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2019.281865.2221

Narimani, H., Seyed Sharifi, R., khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.)

under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology, 10*(3), 21-40. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110895.1098

Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F., & Fathi, A. (2020). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam privince. *Iranian Journal of Pulses Research, 10*(2), 62-76. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.64299

Navabpour, S., Hezarjaribi, E., & Mazandarani, A. (2017). Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 10*(4), 491-503. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.1021

Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., & Fujita, K. (2006). Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum, 50*, 138-141.

PirastehAnosheh, H., & Emam, Y. (2022). Induced salinity tolerance and altered ion storage factor in *Hordeum vulgare* plants upon salicylic-acid priming. *Iran Agricultural Research, 36*(1), 41-48. http://doi.org/10.22099/iar.2017.3878

Saei, A., Zamani, Z., Talaie, A., & Fatahi, R. (2006). Influence of drought stress periods on olive (*Olea europaea* L. cv. Zard) leaves stomata. *International Journal of Agriculture and Biology, 4,* 430-433.

Salehi, M., Faramarzi, A., Farboodi, M., Mohebalipour, N., & Ajalli, J. (2021). Effects of funneliformis mosseae and pseudomonas fluorescens on some growth and nutritional parameters of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) under drought stress in a greenhouse condition. *Journal of Soil Biology*, *9*(1), 73-84. (In Persian with English Abstract)

Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., & Jamaati-e-Somarin, S. (2009). Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under *hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Science, 3*(1), 103-109.

Shokhmgar, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, S. G., & Baradaran, R. (2021). To Study the response of grain yield and some agronomical traits of foxtail millet (*Setaria italica* L.) to foliar application of growth regulators under drought stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(4), 977-989. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3136.1803

Shokouhfar, A., & Abofatilehnezhad, S. (2013). Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*Vigna radiate* (L.)) in Dezful. *Crop Physiology, 5*(17), 49-59. (In Persian)

Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology, 53*(2), 258-260.

Tabatabai, S. M. T. (2021). Study of genetic diversity and cluster analysis for morphological traits of bread wheat under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(4), 913-928. (In Persian). http://doi.org/10.22077/escs.2020.3405.1857

Todaka, D., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2015). Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. *Frontiers in Plant Science, 6,* 84-91.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment, 52*(4), 184.